

**EIN BEITRAG ZUM PROBLEM DES
PLASTISCHEN TONUS DER
GLATTEN MUSKULATUR**

**(Untersuchungen an der Taenia coli
des Meerschweinchens)**

K. Norbert Stahr

1962.

Aus dem Institut für animalische Physiologie
der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität zu Frankfurt/Main
Direktor: Prof. Dr. med. K. W E Z L E R

EIN BEITRAG ZUM PROBLEM DES PLASTISCHEN TONUS DER
GLATTEN MUSKULATUR

(Untersuchungen an der Taenia coli des Meerschweinchens)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
Frankfurt/Main

vorgelegt von
K. Norbert S T A H R
aus Weißstein/Waldenburg/Schl.
Frankfurt/Main 1962

Dekan: Prof. Dr. W. Krücke
Referent: Prof. Dr. K. Greven
Korreferent: Prof. Dr. H. Frick
Mündliche Prüfung: 3. Dezember 1962



Herrn Professor Dr. med. K. Greven

danke ich für die Überlassung des Themas und seine freund-

liche Unterstützung während der

Arbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG	5
ALLGEMEINE METHODIK	10
ERGEBNISSE	10
DISKUSSION	29
ZUSAMMENFASSUNG	33
LITERATUR	34
LEBENS LAUF	38

EINLEITUNG

Die glatte Muskulatur entsteht, wenn man von der Muskulatur der Iris und Schweißdrüsen absieht, aus dem Mesenchym. Nach FISCHER 1944 kann die quergestreifte Muskulatur der Vertebraten als physiologisch und morphologisch einheitliches Gebilde angesehen werden; dagegen bestehen bei der glatten Muskulatur wichtige Unterschiede sowohl für die verschiedenen glatten Muskelgewebe eines Tieres als auch zwischen anatomisch und funktionell vergleichbaren glatten Muskeln verwandter Species. Das physiologisch unterschiedliche Verhalten der glatten und quergestreiften Muskulatur scheint im wesentlichen nur quantitativer nicht qualitativer Natur zu sein. Der eigentliche kontraktile Mechanismus ist für alle glatten Muskeln gleich. Die kontraktilen Elemente der glatten Muskulatur, der epithelialen Muskelzellen, der quergestreiften Skelettmuskulatur und des quergestreiften Herzmuskelgewebes besitzen intracytoplasmatische, lichtmikroskopisch verschieden strukturierte Fibrillen mit der Eigenschaft der Kontraktionsfähigkeit (BARGMANN 1956).

Nach Meinung der meisten Untersucher (PROSSER, SPERELAKIS u. BERGMAN 1955; CAESAR, EDWARDS u. RUSKA 1957) ist heute der Begriff des Syncytiums für die glatte Muskulatur abzulehnen.

Das Röntgendiagramm der glatten Muskulatur ergab axial orientierte und spiralg angeordnete fädige Mizellen innerhalb einer flüssig kristallinen Phase. Die Verschieblichkeit der Mizellen hängt von der Viskosität der intermizellaren Phase ab. Die Dehnung des Muskels vermehrt die Doppelbrechung der einzelnen Mizellen, die isotonische Kontraktion vermindert sie (FISCHER 1926). Die Anisotropie der aus Aktomyosin bestehenden Muskelfibrillen beruht auf einer kristallinen Ultrastruktur einzelner Mizellen sowie positiver Stäbchendoppelbrechung. Untersuchungen über die Doppelbrechung von FISCHER 1944 ergaben, daß die submikroskopische Struktur der glatten Vertebratenmuskulatur (Darm, Retractor penis) mit der des A-Streifens der quergestreiften Muskulatur übereinstimmt (s. auch HANSON u. LOWY 1960).

Die glatten Muskeln zeigen folgende Eigenschaften in wechselndem Ausmaß (PROSSER 1960): Spontanaktivität, Erregung nach Dehnung, Erregungsleitung von Muskelfaser zu Muskelfaser, langsame Kontraktion und

langsame Erschlaffung, Regulation der Tätigkeit durch autonome Nerven und durch Hormone. Das auslösende Moment der rhythmischen Spontanaktivität ist vielfach eine direkte mechanische Dehnung oder ein lokaler Reflex. Nach BÜLBRING 1955 steigt die Frequenz der spontanen Aktionsstromtätigkeit bei Abnahme des Ruhepotentials an, wenn die Spannung des Muskels erhöht wird (Untersuchungen an der Taenia coli des Meerschweinchens).

Eine der wichtigsten Eigenschaften der glatten Muskulatur ist die Plastizität, d.h. die Fähigkeit, beträchtliche Längenveränderungen ohne Spannungsänderung zu erreichen. Der glatte Muskel hat keine bestimmte Ruhelänge. Er kann sich bei verschiedener Länge in Ruhe oder Aktion befinden, indem er äußeren Kräften das Gleichgewicht hält. Der sogenannte *plastische Tonus* (JORDAN 1918, GREVEN 1950, 1951, BOZLER 1952) beruht auf einem anderen Mechanismus als die Kontraktur. Nach RIESSER 1925 bezeichnet der "plastische Tonus" die Eigenschaft des Muskels, unabhängig von der Länge die innere Spannung, den Grad der Sperrung, unter gleichzeitiger Veränderung seiner plastischen Eigenschaften zu wechseln, während der *kontraktile Tonus* die Eigenschaft bedeutet, unter langsamer Verkürzung in Dauerspannung zu geraten. Unter "kontraktilen Tonus" kann dementsprechend erstens eine Dauerverkürzung ohne rhythmische Aktivität, bei der nach GREVEN 1951 der Muskel depolarisiert und an der Erschlaffung verhindert ist, verstanden werden. Nach BRECHT, BEHRENS u. BARTELS 1954 liegt der Sauerstoffverbrauch bei einer solchen Kontraktur erheblich über den Ruhewerten. Zweitens kann man aber auch unter dem Begriff eines "kontraktilen Tonus" Verkürzung und Spannungsentwicklung im Sinne einer tetanischen Aktivität wie bei der Skelettmuskulatur verstehen. Ein solcher Mechanismus ist für den glatten Muskel seit den Arbeiten BOZLERS ebenfalls gesichert. Die genannten drei Möglichkeiten, auf den "Tonus"-Veränderungen im Sinne von Längen- und Spannungsänderungen beruhen können, also plastische Veränderungen, Kontraktur und Tetanus, sollten auseinandergehalten werden.

Die plastische Verlängerung eines Muskels hängt u.a. davon ab, wie hoch die Belastung ist, und wie lange die Belastung andauert. Je länger die Zeit der Belastung andauert, desto größer ist der Dehnungsrückstand bei nachfolgender Entlastung. Nach AUBERT u. Mitarb. 1951, REICHEL 1952 bestehen die Träger der plastischen Eigenschaften aus kontraktilen Elementarfibrillen oder Elementen, die zu den kontraktilen Ketten in Serie liegen. Der Dehnungsrückstand kann durch einfache Entlastung nicht aufgehoben werden. Die plastische Verlängerung (BOZLER 1930, GREVEN 1950,

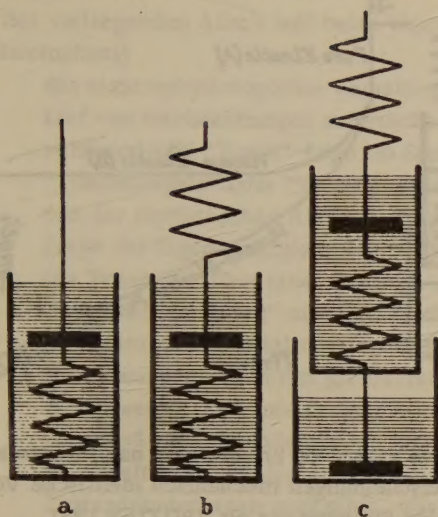


Abb. 1

a = Visco-elastisches Modell nach BLIX

b = Elastisch visco-elastisches Modell nach LEVIN u. WYMAN

c = Elastisch visco-elastisch plastisches Modell nach WINTON (nach REICHEL 1952)

BANDMANN u. REICHEL 1954) kann aber beim glatten Muskel bei völliger Entlastung durch isotonische Kontraktion rückgängig gemacht werden.

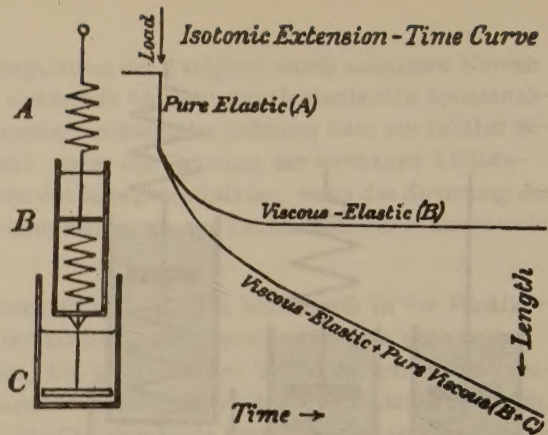
Der Begriff eines "plastischen Tonus" läßt sich versuchsweise anhand von Nachwirkungserscheinungen, d.h. Nachdehnung bei isotonischer und Relaxation bei isometrischer Belastung erläutern. Die Widerstandshöhe bei beliebiger Länge wird durch die Dehnungsgeschwindigkeit bei konstanter Last definiert. Der nach POSTMA 1935 so bezeichnete *Tonuspiegel* gibt in dieser Weise gemessen den Grad des Widerstandes bei beliebiger Länge an, das *Tonusniveau* dagegen (nach dem gleichen Autor) die minimale Länge, bei der überhaupt ein Widerstand gegen Dehnung einsetzt.

Das visco-elastische Verhalten des glatten Muskels wurde durch verschiedene Feder - Stempel - Modelle darzustellen versucht : 1. Visco-elastisches Modell nach BLIX. 2. Elastisch visco-elastisches Modell nach LEVIN u. WYMAN. 3. Elastisch visco-elastisch plastisches Modell nach WINTON (s. Abb. 1). Die Federn geben die elastischen Eigenschaften, die in einer hochviskosen Flüssigkeit gleitenden Stempel die plastischen Eigenschaften wieder. Die einzelnen Kurvenabschnitte der Nachdehnungskurve in Abb.2 (rechts) sind den einzelnen Abschnitten des WINTON'schen Modells zugeordnet und entsprechen ihrem mechanischen Verhalten.

Die Frage nach dem Wesen des plastischen Tonus hat eine Vielzahl von

1930

Die Nachdehnungskurve (rechts) entspricht in den einzelnen Abschnitten ihres Verlaufs dem mechanischen Verhalten der einzelnen Abschnitte des Feder-Stempel-Modells (links).



Autoren beschäftigt. Selbst über die Frage, ob Erschlaffung nach Kontraktion und plastische Nachwirkungserscheinungen mechanisch identische Vorgänge sind, wurde bisher noch keine Einigung erzielt (BOZLER 1931, GREVEN 1951).

GREVEN 1950 konnte in mechanischen und elektrophysiologischen Versuchen am Froschmagenring zeigen, daß die Veränderung des plastischen Tonus unabhängig vom kontraktile System vor sich geht und keine Veränderung des Membranpotentials zur Folge hat. GREVEN fand in Untersuchungen am Froschmagenring zur Wiederherstellung des durch vorherige Dehnung verloren gegangenen Tonus, daß eine Regeneration des plastischen Tonus, in diesem Falle die Wiederherstellung des vor der Erstdehnung vorhandenen elastisch plastischen Widerstandes gegen die dehnende Kraft, auch bei völliger Entlastung durch Wirkung vegetativer Mimetica nicht zu erreichen war. Der durch Dehnung verloren gegangene Tonus konnte dagegen durch Wärmebehandlung bei höheren Temperaturen (30°C) und anschließende Abkühlung auf niedere Temperaturen (7°C) wiederhergestellt werden, wenn sich durch ausreichende kontraktile Tätigkeit während Entlastung ein genügender Verkürzungszustand eingestellt hatte. Die Regeneration dieses plastischen Tonus beim Kaltblüter ist demnach bei Wärmebehandlung und nachfolgender Abkühlung nicht ohne vorherige kontraktile Verkürzung des Muskels möglich. GREVEN stellt sich das so vor, daß plastisch gedehnte Elemente durch die Tätigkeit parallel geschalteter kontraktile Strukturen wieder ineinandergeschoben werden. Hierbei ist Wärme als "Weichmacher" förderlich. Andererseits gewinnt der Muskel bei nachfolgender Abkühlung wieder seine alte Widerstandskraft gegen plastische Dehnung.

In der vorliegenden Arbeit soll beim Warmblüter (*Taenia coli* des Meerschweinchens)

1. das elektrophysiologische Verhalten der glatten Muskulatur im Verlauf von Nachdehnungen untersucht werden um zu erfahren, ob eine veränderliche "Tonus"-Lage im Sinne eines plastisch veränderten "Tonusspiegels" oder "Tonusniveaus" (POSTMA s.o.) unabhängig von der rhythmischen Aktivität eingestellt und gehalten werden kann; Frage der Eigenständigkeit des plastischen gegenüber dem kontraktilen Tonus im Sinne eines Tetanus. Allerdings waren bei dieser Methode "Kontrakturen" nicht auszuschließen, da keine, hinweisgebenden Membranpotentialmessungen erfolgten. Solche Membranpotentialmessungen wären mit großen technischen Schwierigkeiten verbunden gewesen. Es wurde deswegen mit Absicht davon abgesehen. Alle Längen-Spannungsänderungen, soweit sie nicht mit Aktionsströmen gekoppelt sind, werden also im folgenden den elastisch-plastischen Zustandsänderungen zugezählt, was der Ablauf der Versuche, wie man sehen wird, zumindest wahrscheinlich macht.
2. soll die Frage geklärt werden, ob, durch welche Mittel und in welchem Ausmaß eine Regeneration des durch Dehnung verloren gegangenen plastischen Tonus an diesem Warmblüterpräparat möglich ist. Zu Punkt 2 wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt, die unter isotonischen und isometrischen Bedingungen nach erfolgter Belastung bzw. Dehnung den Einfluß der kontraktilen Tätigkeit in der Erholungszeit und den reinen Zeiteinfluß ohne kontraktile Tätigkeit in der Erholungszeit für die Wiederherstellung des ehemals vorhandenen plastischen Tonus demonstrieren sollen. Denn eine Änderung der Badtemperatur in dem Ausmaß, wie sie von GREVEN (s.o.) für den Froschmagen angewandt wurde, kam für das Warmblüterpräparat nicht in Frage. Stattdessen war ein Einfluß der Erholungszeit auf die Regeneration der vor der Dehnung vorhandenen plastischen Eigenschaften, wie er auch von GREVEN schon diskutiert wurde, u.U. zu erwarten.

Für die Untersuchungen wurde die *Taenia coli* des Meerschweinchens gewählt, da sie sowohl in mechanischer als auch elektrophysiologischer Hinsicht ein brauchbares und gut erforschtes Objekt darstellt.

Die Untersuchungen erfolgten an der *Taenia coli* des Meerschweinchens. Die Taenie wurde in einer Länge von 1,5 cm herauspräpariert. Als Badflüssigkeit wurde die von CHAMBERS u. PICKLES 1958 angegebene LOCKE-Lösung verwandt :

NaCl 0,9 g / 100 ml - 100 Teile, KCl 1,15 g / 100 ml - 2 Teile, CaCl_2 1,22 g / 100 ml - 4 Teile, NaHCO_3 1,30 g / 100 ml - 2 Teile sowie Glukose 2 g / l der Endlösung. Die Versuche liefen bei einer Temperatur von 38°C unter Verwendung eines Sauerstoff-Kohlensäure-Gemisches (O_2 99 %, CO_2 1 %) zur Durchperlung der oben angegebenen Badflüssigkeit oder in einer feuchten Kammer.

Die spezielle Methodik ist der Besprechung der Versuchsergebnisse vorangestellt.

ERGEBNISSE

I. Isotonische Versuche mit Registrierung der Aktionsstromtätigkeit.

Spezielle Methodik: Die *Taenia coli* wurde mit einer Dauerbelastung von 0,7 g gestreckt gehalten und während der Versuche zusätzlich mit 3,2 g wiederholt belastet und entlastet. Ihre mechanischen Aktionen wurden zusammen mit den elektrischen Vorgängen photographisch registriert. Die Abbildungen 3 bis 11 (Isotonische Versuche an der *Taenia coli* des Meerschweinchens. Mechanische Bewegung und Aktionsstromtätigkeit. Ordinaten in willkürlichem Maßstab. Zeitmarke : 2 sec. Temperatur : 38°C) geben eine Auswahl einer Reihe von Aktionsstromkurven wieder. Die Taenie arbeitete mit ihrem oberen freien Ende am isotonischen Hebel. Die obigen Gewichtsangaben beziehen sich auf den Angriffspunkt des Hebels am Muskel. Die Muskelbewegung wurde über Photozelle, Multiplier und Schleifenoscillograph (Eigenfrequenz : 60 / sec) auf einem HELIGE Kymographen M 38 registriert. Zur Ableitung der Aktionsströme wurde eine multipolare Ableitung gewählt, um das

Elektrogramm möglichst vieler Fasern zu erfassen. Das untere Ende der Taenie war an einer Fußklemme fixiert, die gleichzeitig als Elektrode diente. In die Taenie wurden vier Platindrahtelektroden von 0,04 mm Durchmesser, die die Muskelbewegung nicht behinderten, in gleichem Abstand eingezogen. Die einzelnen Drahtelektroden wurden in ihrem freien Anteil durch Gummiüberzug gegeneinander isoliert, über abgestufte Glasröhrchen, deren untere Öffnungen mit Wachs verschlossen wurden, aus der feuchten Kammer herausgeführt und über einen Mischpult der Eingangsstufe eines Gleichstrom-Differential-Vorverstärkers (T o e n i e s Frbg.) zugeleitet. Die Vorrichtung zur Aktionsstromableitung sowie der Gleichstrom-differentialvorverstärker wurden durch einen FARADAY-Käfig elektrisch abgeschirmt. Die kapazitive Kopplung erfolgte über 0,05 μ F. Am Ausgang des Gleichstromdifferentialvorverstärkers lag ein Endverstärker mit automatischer Rückstellung, der ebenso wie der Schleifenscillograph mit dem HELIGE Kymographen M 38 verbunden war. Mit Hilfe eines Kathodenstrahloscillographen konnte man fortlaufend die Aktionsstromtätigkeit beobachten und zur Registrierung mit dem Kymographen auswählen.

Abb. 3 zeigt als typisches Beispiel der Registriertechnik eine rhythmische Spontanaktivität mit einer Einzelkontraktionsdauer von 5 sec.

Die Spike-Serien des Elektrogramms liegen vor den Maxima der wellenförmig ablaufenden Kontraktionen.

Nach BOZLER 1945, 1946 bestehen am Meerschweinchendünndarm die Aktionspotentiale aus kurzen Spikes mit längeren Nachpotentialen. Membranpotentiale in Spike-Form von rhythmisch aktiven Taenia-coli-Muskeln des Meerschweinchens wurden von BÜLBRING 1954, 1955, 1956, 1957 und 1961 beschrieben.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von BOZLER 1938 ist jede Spontankontraktion von einer Impulsentladung begleitet. Die Erschlaffungskurve nach Kontraktion ist frei von Aktionsstromtätigkeit.

Abb. 4 - 11 stellen die eigentlichen Versuche dar, die das mechanische und elektrische Verhalten des visceralen Muskels im Verlauf von Nachdehnungskurven wiedergeben. Wurde die Taenie belastet, so bildeten sich Nachdehnungskurven aus, die z.T. frei von Kontraktionen waren und keine Aktionsstromtätigkeit aufwiesen (s. Abb. 4 und 5). Nach Entlastung kam es jeweils zu einem visco-elastischen Rückstelleffekt mit nachfolgen-

der kontraktile Tätigkeit, die durch Spike-Serien gekennzeichnet war. Die Abb. 6 und 7 zeigen der Nachdehnungskurve aufgesetzte und durch Aktionsstromtätigkeit gekennzeichnete Kontraktionen. Der visco-elastische Rückstelleffekt bei Entlastung in Abb. 6 fällt zufällig mit einer Kontraktion (durch Aktionsstromtätigkeit gekennzeichnet) zusammen und täuscht einen steilen Verlauf vor. Abb. 7 zeigt im Verlauf der Nachdehnungskurve eine einzige weitbogige Kontraktion. Nach Entlastung kommt es im Anschluß an den visco-elastischen Rückstelleffekt zu einem langsamen Kurvenanstieg, bevor kontraktile Tätigkeit (A.S.) einsetzt. Besonders auffällig zeigt diesen letzteren Befund die Abb. 10 und 11.

In Abb. 8 stellt sich kurz nach Belastung ein durch fortlaufende Aktionsstromtätigkeit gekennzeichneteter kontraktiler Tonus (Tetanus) ein (s. auch BOZLER 1938). Sodann zeigt Abb. 8 eine glatte, von Aktionsstromtätigkeit freie Nachdehnungskurve. In Abb. 9 reagiert die in der Aktion belastete Taenie auf rasche Dehnung mit einer Zunahme der Aktionsstromtätigkeit im Sinne einer Steigerung der Frequenz und der Amplitudenhöhe. Die Kontraktionen nach Belastung zeigen einen tetanischen Charakter. In Übereinstimmung damit steht der Befund von BÜLBRING 1954, nach dem die Vermehrung der Aktionsstromtätigkeit proportional der durch den Muskel vermehrten Spannung ist. Auch nach den Untersuchungen von GREVEN 1954, JUNG 1955, BÜLBRING 1957 besteht eine Proportionalität zwischen Spannungsentwicklung und der Frequenz der Aktionsstromtätigkeit.

Die Wiederherstellung des alten Verkürzungszustandes der Taenie nach Entlastung erfolgte einmal in einer raschen Kontraktionsserie (Abb. 7) oder, wie Abb. 10 und 11 eindrucksvoll zeigen, in stufenweisen Kontraktionen über längere Zeit. Dabei erzielt der Muskel durch einmalige Kontraktion einen Verkürzungszustand, der ohne weitere kontraktile Tätigkeit über eine gewisse Zeit in gleicher Höhe aufrechterhalten werden kann. Die Abb. 4, 7 und 11 zeigen aber auch schon nach Entlastung als visco-elastische Rückstellwirkung bis zur ersten Kontraktion einen geringen, langsamen Anstieg des Kurvenverlaufs. Dieser Befund stimmt mit den Ergebnissen von REMINGTON u. ALEXANDER (1956) überein, nach denen sich ein Teil des plastischen Dehnungsrückstandes nach Entlastung im Bereich niedriger Spannungen zurückbilden kann.

Der Muskel kann sich aus jeder durch die Dehnung herbeigeführten Längenänderung nach Entlastung wieder verkürzen und dann in einen Zustand innerer Verfestigung (S p e r r u n g) eintreten, in dem äußeren deformierenden Kräften, hier der Ausgangsbelastung von 0,7 g, bei unterschiedlicher

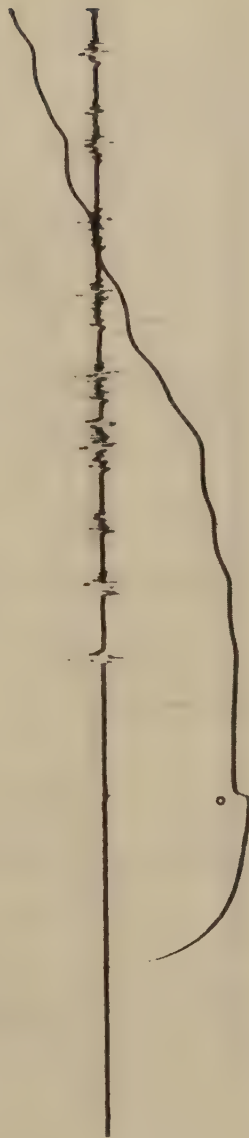
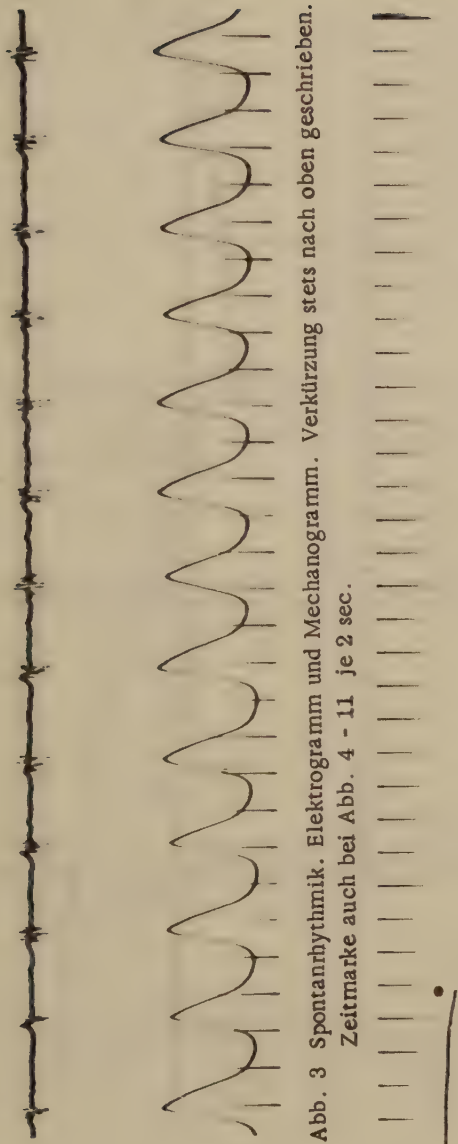


Abb. 4 Aktionsstromfreie Nachdehnungskurve. Bei (·) Belastung, bei (o) Entlastung.

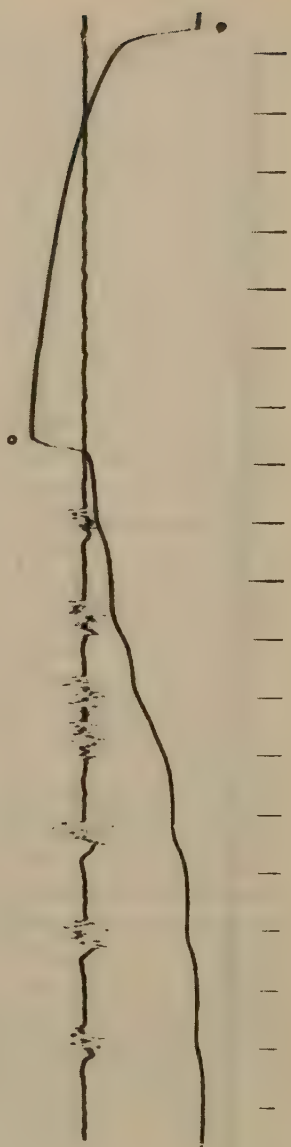


Abb. 5 Aktionsstromfreie Nachdehnungskurve. Bei (·) Belastung, bei (o) Entlastung.

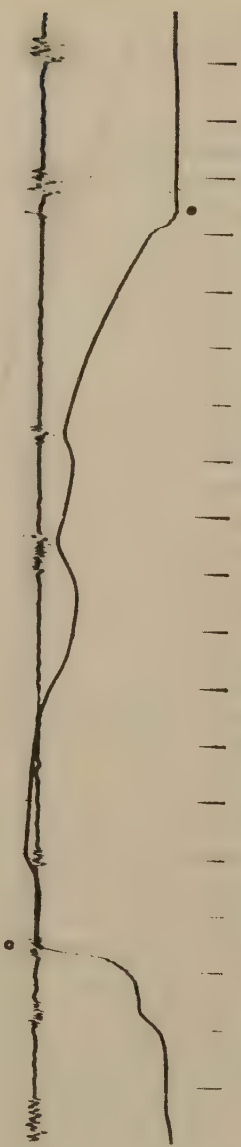


Abb. 6 Isotonische Nachdehnungskurve mit aufgesetzten Kontraktionen. Bei (·) Belastung, bei (o) Entlastung.



Abb. 7 Große, durch Aktionsstromtätigkeit gekennzeichnete, in die Nachdehnungskurve einscherende Kontraktion. Nach Entlastung (o) bis zur ersten Kontraktion flacher Anstieg des Kurvenverlaufs.

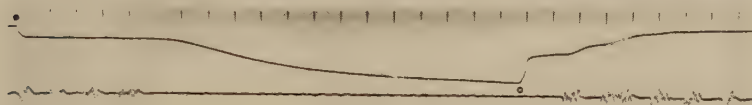


Abb. 8 Nach Belastung (•) kontraktiles Tonus. Aktionsstromfreie Nachdehnung und visco-elastische Rückstellung bei Entlastung (o) und kontraktile Tätigkeit.

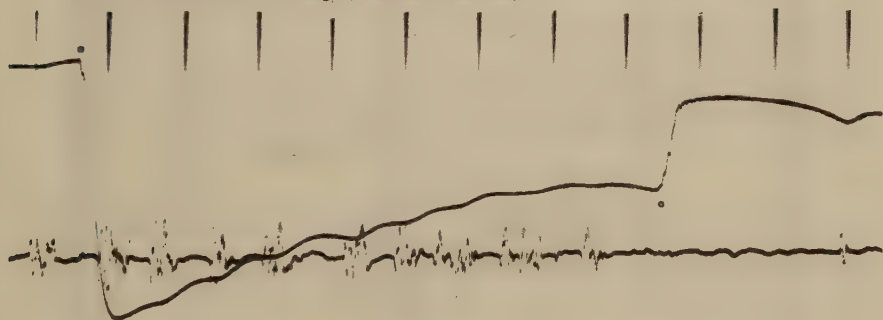


Abb. 9 Tetanischer Charakter der Spontankontraktionen nach Belastung (•). Zunahme der Frequenz und Amplitudenhöhe der Aktionsstromtätigkeit. Bei (o) Entlastung.

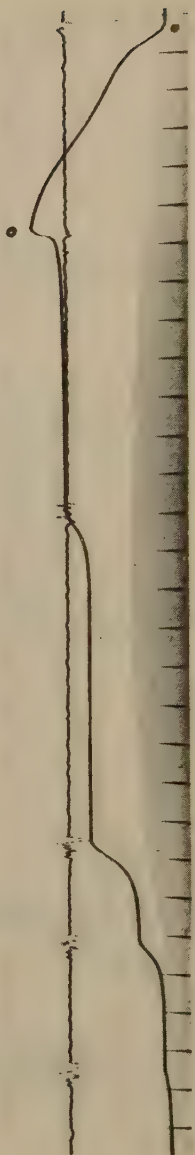


Abb. 10 Nach Entlastung (o) visco-elastische Rückstellung und langsamer Kurvenanstieg bis zur ersten Kontraktion. Wiederherstellung der Ausgangslänge in stufenweisen Kontraktionen über längere Zeit. Erste Stufe : 17 sec.

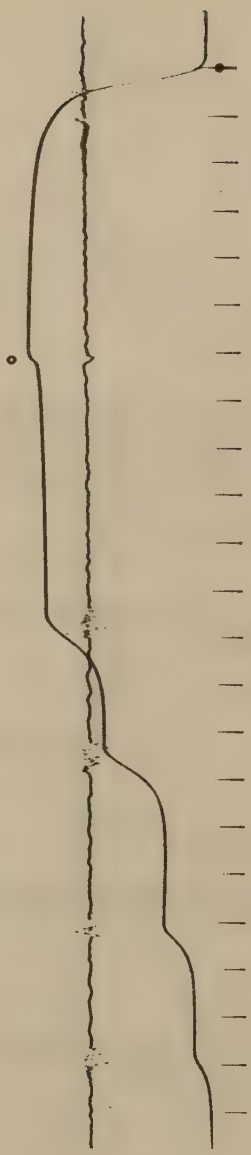


Abb. 11 Aktionsstromfreie Nachdehnungskurve. Gleicher Befund wie bei Abb. 10 nach Entlastung (o).

Länge erneut Widerstand geleistet wird (Abb. 10) (s. auch RIESSER 1936). Im Gegensatz zu den elastischen Veränderungen sind die plastischen Veränderungen, d.h. der Dehnungsrückstand (Tonusabfall) nach Entlastung spontan nicht völlig reversibel. Die Voraussetzung für die Regeneration des durch Dehnung verloren gegangenen plastischen Tonus, so wie er experimentell zu Tage tritt, d.h. als reine plastische Längenänderung, ist kontraktile Tätigkeit nach der Entlastung.

In Ergänzung bisheriger Befunde wurde für den Warmblüter (*Taenia coli* des Meerschweinchens) gezeigt, daß das rein plastische Auseinanderweichen des visceralen glatten Muskels keine Veränderung der Aktionsstromtätigkeit zur Folge zu haben braucht in dem Sinne, daß eine vorher vorhandene rhythmische Aktivität gedämpft wird, und vor allem (Abb. 10, 11) ein unterschiedlicher Verkürzungszustand ohne eine solche Aktionsstromtätigkeit beibehalten werden kann.

II. Isotonische und isometrische Versuche zur Frage der Regeneration des plastischen Tonus

1. Einfluß der kontraktilen Tätigkeit auf die Wiederherstellung des verloren gegangenen plastischen Tonus (Prostigmineinwirkung in der Erholungszeit).
2. Einfluß der Zeit bei Unterbindung kontraktiler Tätigkeit auf die Wiederherstellung des plastischen Tonus (Adrenalineinwirkung in der Erholungszeit).

Spezielle Methodik: Die mechanische Registrierung der Nachdehnung und Relaxation erfolgte wie oben über Photozelle, Multiplier und Schleifenoscillograph auf einem HELIGE Kymographen M 38. Die isotonischen Versuche wurden mit 10 g Belastung, die isometrischen Versuche mit Dehnung um 1 cm durchgeführt. Um einen kontraktilen Tonus bzw. eine kontraktile Tätigkeit während Belastung bzw. Dehnung auszuschalten, wurde die Taenie einer Adrenalin-haltigen Badflüssigkeit (Conc. 10^{-5}) ausgesetzt. Die Taenie wurde zu Beginn eines jeden Versuchs 20 Minuten lang

belastet bzw. gedehnt, um eine sichere Verminderung des plastischen Tonus zu erreichen. Abb. 12 und 18 geben den Gang der isotonischen, Abb. 13 und 19 den der isometrischen Versuche wieder (Insgesamt 26 Versuche).

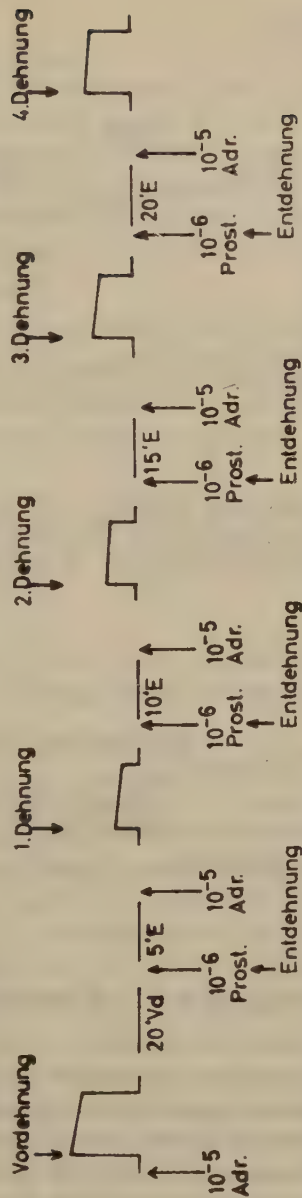
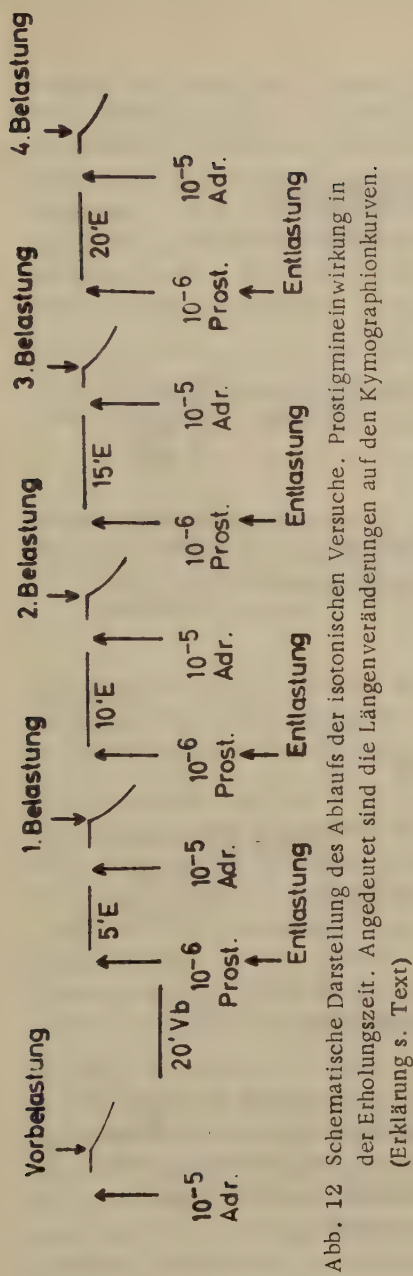
1. Einfluß der kontraktilen Tätigkeit auf die Wiederherstellung des verloren gegangenen plastischen Tonus (Prostigmineinwirkung in der Erholungszeit) :

In Abb. 12 ist der Verlauf der zunächst zu behandelnden Nachdehnungsversuche schematisch dargestellt. Im Anschluß an die Vorbelastung von 20 Minuten ($20 \text{ }^{\circ}\text{Vb}$ der Abb.) wurden jeweils nach Ablauf von 5, 10, 15 und 20 Minuten Erholungszeit ($5', 10', 15' \text{ und } 20' \text{ }^{\circ}\text{E}$ der Abb.) unter Prostigmineinfluß (Conc. 10^{-6}) bei vollständiger Entlastung (auch vom Ruhegewicht) vier weitere Belastungen für die Dauer von je 20 Sekunden vorgenommen. Abb. 13 skizziert genau dieselben Verhältnisse, nur daß anstatt der Belastungen und Entlastungen der Abb.12 hier entsprechende Dehnungs- und Entdehnungsfristen einzusetzen sind. Unmittelbar vor und dann bis zum Ende der jeweiligen Belastung bzw. Dehnung wurde die Taenie einer Adrenalin-haltigen Badflüssigkeit (Conc. 10^{-5}) ausgesetzt, um eine kontraktile Tätigkeit sowohl im Sinne eines Tetanus als auch einer Kontraktur während der Nachwirkungserscheinungen zu verhindern. Während der Erholungszeit dagegen stand das Präparat jedesmal unter dem Einfluß des kontraktionsfördernden Prostigmins.

Nach BOZLER 1946 und BÜLBRING 1961 hebt Adrenalin die kontraktile Tätigkeit der Taenie auf und bringt die Aktionsstromtätigkeit zum Erlöschen. Während BOZLER 1946 die Erschlaffung auf eine Depression des Kontraktionsmechanismus selbst zurückführt, sieht BÜLBRING 1961 die Erschlaffung als Folge der Abwesenheit von Aktionspotentialen an. Nach GREVEN 1951 hat Adrenalin auf Nachdehnungskurven ohne kontraktile Tätigkeit keinen Einfluß.

Es wurden nach diesem Schema der Abb. 12 und 13 je drei isotonische und drei isometrische Versuche durchgeführt, die mit zunehmender Erholungszeit eine zunehmend geringere Endlänge der Nachdehnungskurve (s.Abb. 14) bzw. eine Spannungsvermehrung der Relaxationskurve (s.Abb.15) wiedergeben.

In Abb. 16 sind die Ergebnisse der gleichen Versuche noch einmal unter



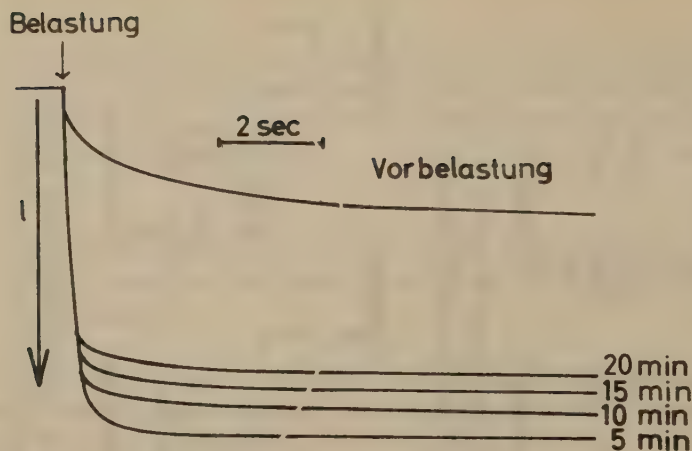


Abb. 14 Zunehmend geringere Endlänge der Nachdehnungskurve. Gleiche Belastungen mit je 10 g unter 10^{-6} Prostigmin nach 5, 10, 15 und 20 min Erholungszeit. l = Länge (Versuch 1)

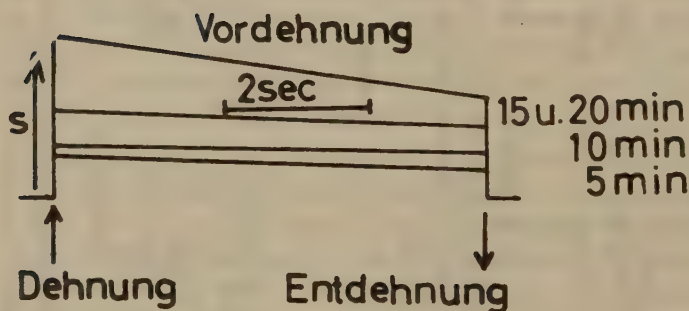


Abb. 15 Spannungsvermehrung bei gleichen Dehnungen um 1 cm. Die oberste Kurve stellt die Spannungsvermehrung während Vordehnung dar, die drei unteren desgl. bei Dehnungen unter 10^{-6} Prostigmin nach je 5, 10, 15 und 20 min Erholungszeit. s = Spannungsvermehrung (Versuch 2)

anderen Gesichtspunkten dargestellt. Es wurde willkürlich die Zeit von 6 Sekunden nach Beginn der Belastung bzw. Dehnung herausgegriffen und die erzielten plastischen Längenänderungen bei diesem Vergleichszeitpunkt prozentual zur plastischen Längenänderung bei erstmaliger Belastung in Abhängigkeit von der Erholungszeit dargestellt. Die Kurven 1 - 3 in Abb. 16 zeigen mit zunehmender Erholungszeit eine kleinere Endlänge der Nachdehnungskurve im Sinne einer Annäherung an den plastischen Tonus, wie er bei erstmaliger Belastung vorlag, an.

Abb. 17 gibt die Verhältnisse unter isometrischen Bedingungen wieder. Mit zunehmender Erholungszeit ist eine Spannungsvermehrung bei gleicher Längendehnung verbunden.

2. Einfluß der Zeit bei Unterbindung kontraktile Tätigkeit auf die Wiederherstellung des plastischen Tonus (Adrenalineinwirkung in der Erholungszeit).

Die folgenden Versuche wurden durchgeführt, um einen isolierten Zeiteinfluß in der Wiederherstellung des plastischen Tonus nachzuweisen. Es wurden zwei Versuchsserien angesetzt :

In der ersten betrugen die Erholungszeiten nach Entlastung bzw. Entdehnung bis zur Neubelastung bzw. neuen Dehnung 5, 10, 15 und 20 Minuten. In der zweiten Serie waren es umgekehrt 20, 15, 10 und 5 Minuten. Wie sich zeigen wird, erreichte man damit, daß Veränderungen, als deren Ursache man zunächst die verschiedene Länge der jeweiligen Erholungszeit hätte vermuten können, die also scheinbar den gesuchten reinen Einfluß dieser Erholungszeit demonstriert hätten, in Wirklichkeit lediglich von der Anzahl der durchlaufenen Dehnungen abhingen.

In Abb. 18 und 19 ist der Ablauf dieser isotonischen und isometrischen Versuche dargestellt, bei denen also zum Unterschied von den in Abschn. II, 1 geschilderten, Adrenalin bereits zu Beginn der Erholungszeit gegeben wurde. Nach jeder Belastung bzw. Dehnung der Taenie wurde zwar auch hier durch Einwirkung von 10^{-6} Prostigmin für ihre Verkürzung gesorgt, dann aber nach einer Erholungszeit unter 10^{-5} Adrenalin erneut Belastung bzw. Dehnung vorgenommen. Es wurden Belastungen und Dehnungen im Abstand von 5, 10, 15 und 20 Minuten (s. (1) der Abb. 18 und 19) (insgesamt je drei Versuche) und wie gesagt in umgekehrter Reihenfolge von

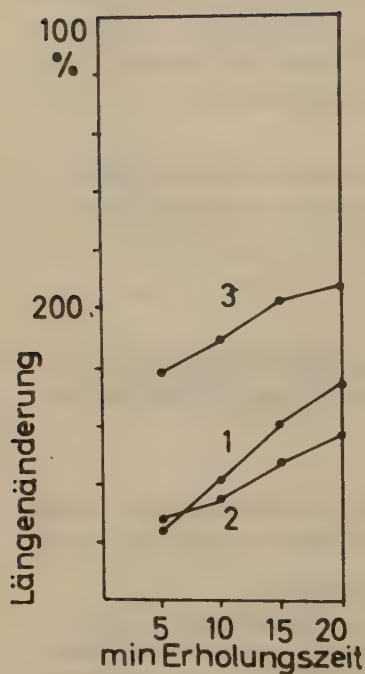


Abb. 16
Prozentuale Längenänderung unter Prostigmineinwirkung in Abhängigkeit von der Erholungszeit (5, 10, 15 und 20 min) nach gleicher Belastung mit je 10 g, bei 3 Versuchen gemäß Schema der Abb. 12. Längenänderung nach erstmaliger Belastung = 100 %

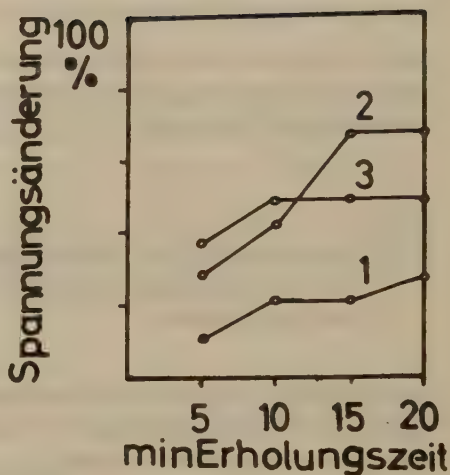


Abb. 17
Prozentuale Spannungsvermehrung unter Prostigmineinwirkung in Abhängigkeit von der Erholungszeit (5, 10, 15 und 20 min) nach gleicher Dehnung um 1 cm, bei drei Versuchen gemäß Schema der Abb. 13. Spannungsänderung nach erstmaliger Dehnung = 100 %

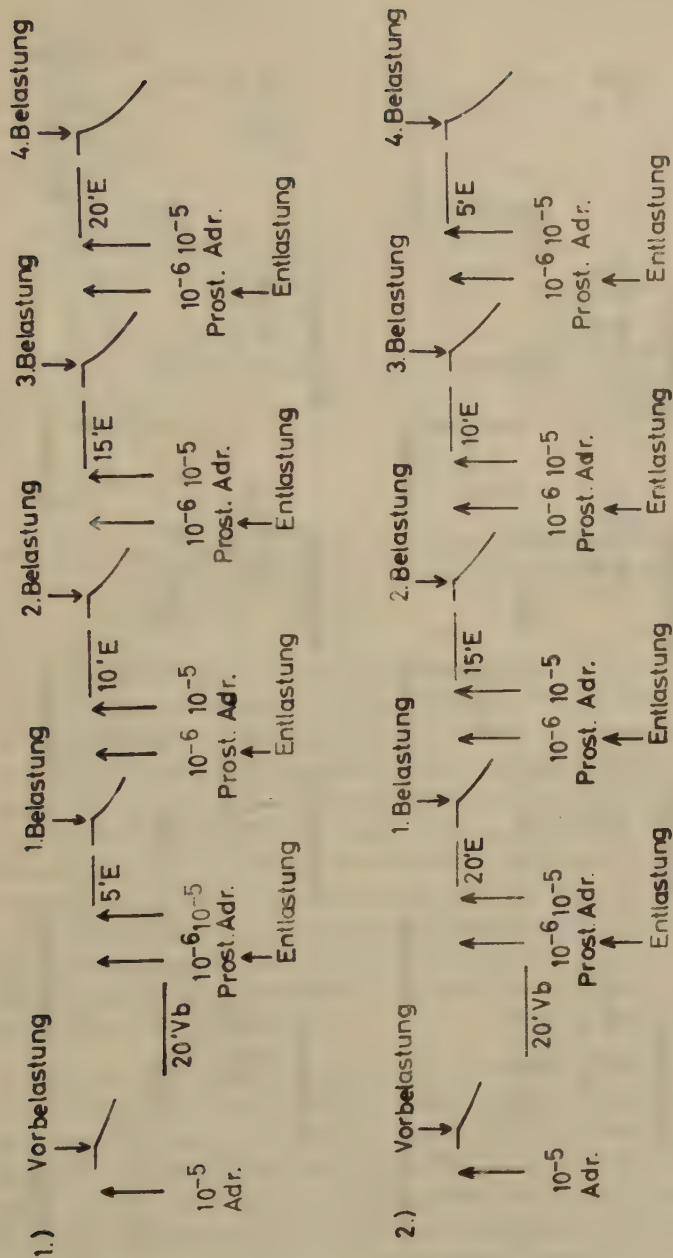


Abb. 18 Schematische Darstellung des Ablaufs der isotonischen Versuche. Adrenalineinwirkung in der Erholungszeit. Ange deutet sind die Längenveränderungen auf den Kymographienkurven. (Erklärung s. Text)

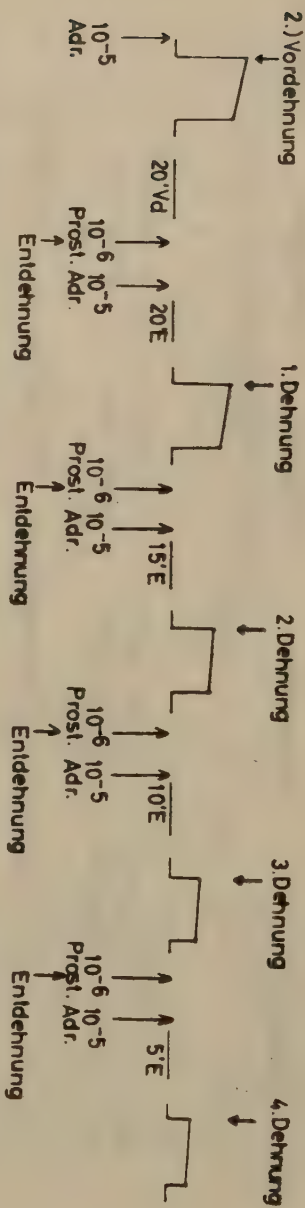
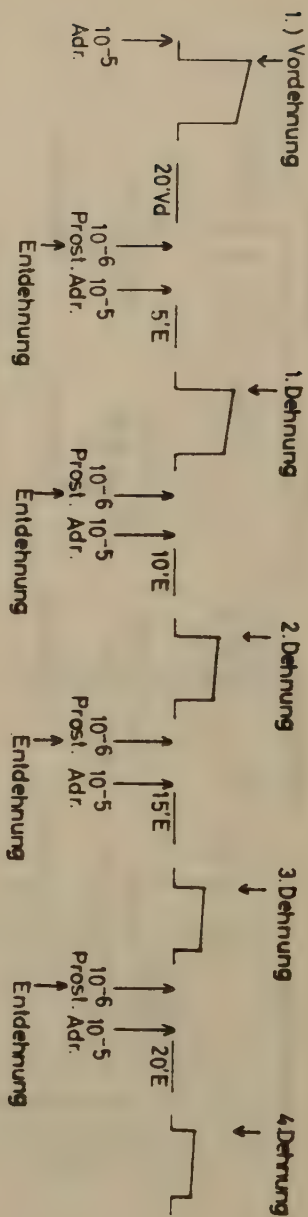


Abb. 19 Schematische Darstellung des Ablaufs der isometrischen Versuche. Adrenalinwirkung in der Erholungszeit. Ange deutet sind die Spannungsveränderungen auf den Kymographionkurven. (Erklärung s. Text)

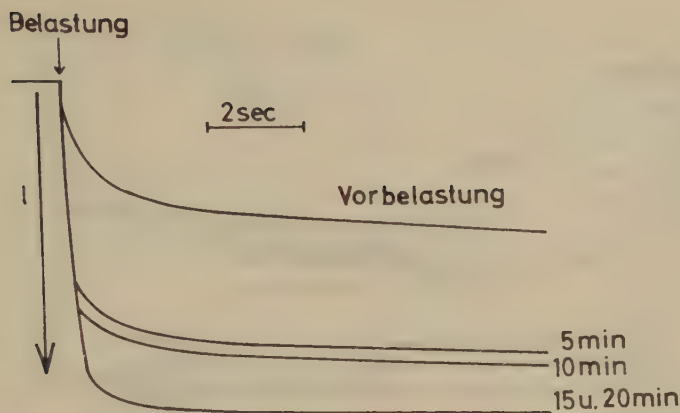


Abb. 20 Zunehmende Endlänge der Nachdehnungskurve unter 10^{-5} Adrenalin bei Belastung im Abstand von 5, 10, 15 und 20 min Erholungszeit. (Versuch 3)

20, 15, 10 und 5 Minuten Erholungszeit (s. (2) der Abb. 18 und 19) (Insgesamt je sieben Versuche) vorgenommen. Abb. 20 gibt eine Reihe aufeinanderprojizierter Nachdehnungskurven wieder, die bei einer Belastung im Abstand von 5, 10, 15 und 20 Minuten jeweils eine Zunahme der Endlänge zeigen. Ein unterschiedliches Ergebnis demonstriert Abb. 21 bei einer Belastung im Abstand von umgekehrt 20, 15, 10 und 5 Minuten. Offensichtlich ist die Anzahl der durchlaufenen Dehnungen für die Endlänge maßgeblicher als die jeweilige Erholungszeit. Die Abb. 22 und 23 geben die Parallelversuche unter isometrischen Bedingungen wieder. Der jeweilige Spannungsanstieg vermindert sich, wenn man die Abb. 22 und 23 vergleicht, mit der Anzahl der bereits durchlaufenen Dehnungen und ist nicht abhängig von der Erholungszeit.

In Abb. 24 und 25 sind diese Ergebnisse wiederum unter den Gesichtspunkten, wie sie für die Abb. 16 und 17 erläutert wurden, dargestellt. Abb. 24 A zeigt die prozentuale Längenzunahme nach 6 Sekunden Belastung mit 10 g (Längenzunahme bei erstmaliger Belastung = 100 %) im Abstand von 5, 10, 15 und 20 Minuten Erholungszeit. Die negative Neigung der A-Kurven zeigt, daß, trotzdem die Erholungszeiten zunehmen, die wiederholte Belastung eine Zunahme der Endlänge herbeiführt. Abb. 24 B

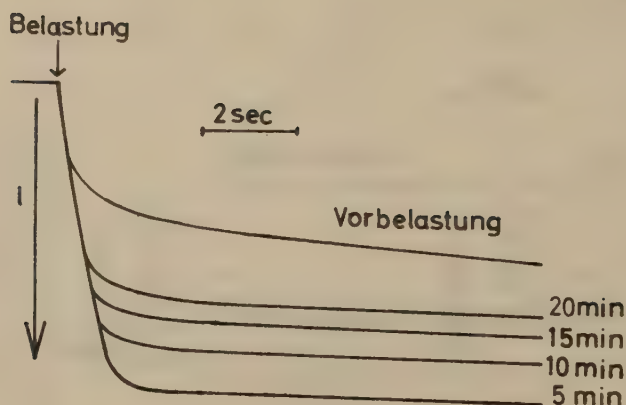


Abb. 21

Zunehmende Endlänge der Nachdehnungskurve unter 10^{-5} Adrenalin bei Belastung im Abstand von 20, 15, 10 und 5 min Erholungszeit. Folge der Erholungszeiten also umgekehrt wie bei Abb. 18 (Versuch 4)

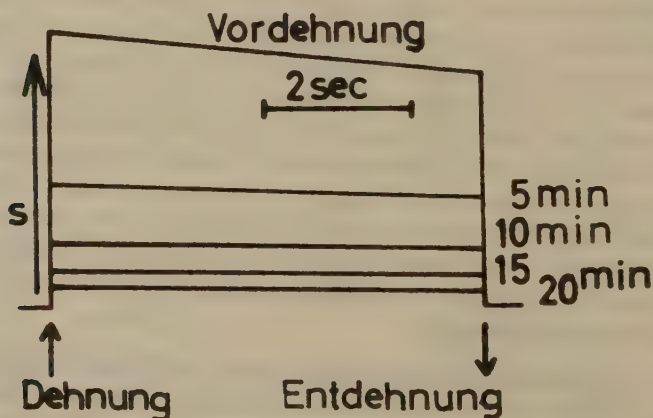


Abb. 22

Verminderung des jeweiligen Spannungsanstieges bei Dehnungen (stets um 1 cm) im Abstand von 5, 10, 15 und 20 min Erholungszeit. 10^{-5} Adrenalin. (Versuch 3)

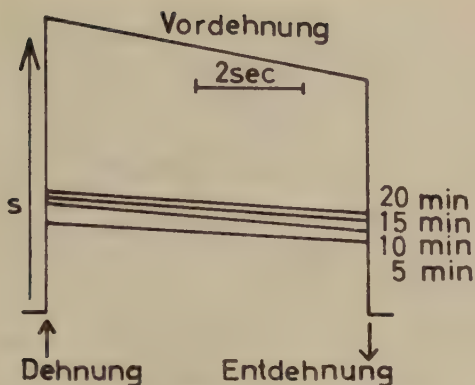


Abb. 23
Isometrische Untersuchungs-
befunde wie bei
Abb. 22 bei Umkehr-
ung der Zeitfolge der
Erholungszeiten.

gibt Versuche wieder, bei denen Belastung umgekehrt im Abstand von 20, 15, 10 und 5 Minuten Erholungszeit durchgeführt wurde. Auch hier zeigen die Kurven mit Ausnahme der Kurve 2 eine Zunahme der Endlänge der Nachdehnungskurven an. Abb. 24 C gibt die Mittelwerte der Abb. 24 A und B wieder. Bei den jeweiligen Erstbelastungen A 5 Minuten und B 20 Minuten ist kein signifikanter Unterschied feststellbar, ebenso nicht zwischen den folgenden korrespondierenden Belastungen A 10 Minuten und B 15 Minuten, A 15 Minuten und B 10 Minuten, A 20 Minuten und B 5 Minuten.

Abb. 25 demonstriert die Verhältnisse unter isometrischen Bedingungen. Die Abb. zeigt die prozentuale Verminderung des jeweiligen Spannungsanstieges nach 6 Sekunden Dehnung um 1 cm (Spannungsanstieg bei erstmaliger Dehnung = 100 %) in Abhängigkeit von der Erholungszeit. Die Kurven in Abb. 25 A mit Erholungszeiten in der Reihenfolge von 5, 10, 15 und 20 Minuten und die Kurven in Abb. 25 B mit Erholungszeiten in umgekehrter Reihenfolge von 20, 15, 10 und 5 Minuten zeigen entgegengesetzte Neigungen. Abb. 25 C gibt wiederum die Mittelwerte der Abb. 25 A und B an. Dabei läßt sich zwischen den Erstdehnungen A 5 Minuten und B 20 Minuten wie unter den folgenden, in der Reihenfolge korrespondierenden Dehnungen kein statistisch signifikanter Unterschied der Spannungsveränderung feststellen. Das bedeutet, wie schon gesagt, daß die Veränderungen der Längen oder die Veränderungen der Spannungen im Nachdehnungsversuch bzw. Relaxationsversuch nicht so sehr von den jeweiligen Erholungszeiten als vielmehr von der Anzahl der jeweils vorher durchgeführten Dehnungen

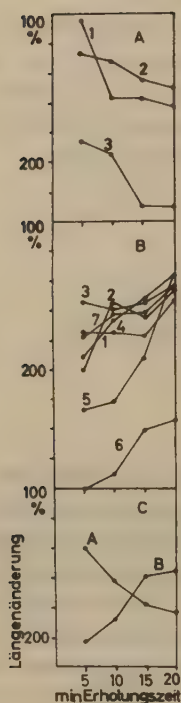


Abb. 24

Prozentuale Längenzunahme nach 6 sec Belastung mit 10 g in Abhängigkeit der Erholungszeit. Längenzunahme bei erstmaliger Belastung = 100 %

- (A) Belastung im Abstand von 5, 10, 15 u. 20 min
- (B) Belastung im Abstand von 20, 15, 10 u. 5 min
- (C) Mittelwerte der A- u. B-Kurvenscharen

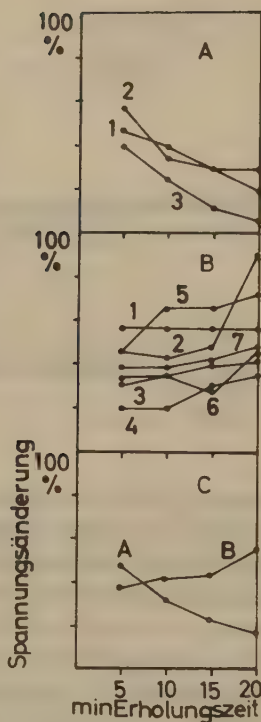


Abb. 25

Prozentuale Spannungsabnahme nach 6 sec Dehnung um 1 cm in Abhängigkeit der Erholungszeit. Spannungsanstieg bei erstmaliger Dehnung = 100 %

- (A) Dehnung im Abstand von 5, 10, 15 u. 20 min
- (B) Dehnung im Abstand von 20, 15, 10 und 5 min
- (C) Mittelwerte der A- u. B-Kurvenscharen.

abhängen. Die Abb. 24 und 25 bieten keinen Anhalt dafür, daß die plastischen Nachwirkungen sich im Laufe einer anschließenden Entlastungszeit in verkürztem Zustand von selbst und nur in Abhängigkeit von der Dauer dieser Erholungszeit regenerieren. Eine Durchführung von mehr Versuchen hätte bei der großen Streuung keinen Vorteil gebracht.

Die Abb. 16 und 17 geben mit zunehmender Erholungszeit unter Prostigmineinwirkung eine Verminderung der Endlänge der Nachdehnungskurven bzw. eine Vermehrung des Spannungsanstieges der Relaxationskurven im Sinne einer teilweisen Regeneration des plastischen Tonus wieder. Die Regeneration des plastischen Tonus im Sinne einer inneren Verfestigung (GREVEN u. SIEGLITZ 1951) war nie vollständig, d.h. die ehemalige geringe Dehnbarkeit unter Belastung oder der ehemalige Spannungsanstieg unter Dehnung ließen sich in den Experimenten nicht wiederherstellen. Die Wiederherstellung des plastischen Tonus braucht Zeit. Isotonische und isometrische Versuche (Abschn. II, 1), bei denen jeweils nach Vorbelastung bzw. Vordehnung im Abstand von 5, 10 15 und 20 Minuten Erholungszeit Belastung bzw. Dehnung vorgenommen wurde, ergaben unter Prostigmineinwirkung also andauernder kontraktile Tätigkeit während der Entlastung mit zunehmender Erholungszeit eine Regeneration des plastischen Tonus wenigstens im Sinne einer Annäherung an den plastischen Tonus, wie er bei erster Belastung bzw. erster Dehnung vorlag. Anderes dagegen zeigte sich bei den Versuchen, bei denen in der Erholungszeit kontraktile Tätigkeit ausgeschaltet war (Abschn. II, 2). Isotonische und isometrische Versuche, bei denen jeweils nach Vorbelastung bzw. Vordehnung im Abstand von 5, 10, 15 und 20 Minuten sowie umgekehrt im Abstand von 20, 15, 10 und 5 Minuten Erholungszeit Belastungen bzw. Dehnungen vorgenommen wurden, ergaben mit zunehmender Erholungszeit keinen Anhalt für eine Regeneration des des plastischen Tonus als reiner Zeitwirkung.

Längere Zeit dauernde kontraktile Tätigkeit scheint demnach nötig, um ursprünglich vorhandenen plastischen Tonus wiederherzustellen.

DISKUSSION

Das plastische Auseinanderweichen bei Belastung ohne Zunahme der Spannung innerhalb eines weiten Bereiches ist ein Hauptmerkmal der glatten Muskulatur. Die vorliegenden Untersuchungen geben Auskunft darüber, ob

die plastische Längenänderung ein aktiver, an rhythmische kontraktile Tätigkeit gebundener Vorgang ist oder rein passiv erfolgt. Die gleichzeitige Registrierung der Aktionsstromtätigkeit während der Nachdehnungen zeigte bei einer glatten Nachdehnungskurve (ohne aufgesetzte Kontraktionen), daß nicht etwa mit zunehmender Länge eine vorher vorhandene Aktionsstromtätigkeit eingeschränkt wurde. Das Wesen eines so verstandenen plastischen Tonus stellt sich somit als ein rein passiver physikalischer Zustand dar, dem keine Änderung der Aktivität kontraktiler Substanz zugrunde liegt (s. auch REMINGTON u. ALEXANDER 1956). Das verwandte Präparat der *Taenia coli* des Meerschweinchens konnte weiterhin nach Entlastung ohne kontinuierliche Aktionsstromtätigkeit verschiedene Längen einstellen und diese über längere Zeit aufrechterhalten (Abb. 10 und 11).

Die plastische Längenänderung als ein rein passiver Vorgang erfolgt nur in einer Richtung, wobei man diese Verlängerung als "Abnahme des plastischen Tonus" bezeichnen mag. Das Ausmaß der Tonusabnahme ist nicht vorauszubestimmen. Es hängt natürlich in großem Umfang vom Grad der Belastung ab. Daneben spielt eine unter der Belastung einsetzende Aktivität eine Rolle (Abb. 9). So reagierte die Taenie auf Belastung mit glatten Nachdehnungskurven, Kontraktionen während der Nachdehnung sowie mit tetaniformer Aktion im Anschluß an die Entlastung. Ob die Taenie auf Belastung mit einer glatten Nachdehnung antwortete, war nicht vorauszusagen. Die Versuche erfolgten in pharmakologisch unbeeinflußtem Milieu d. h. ohne kontraktionsfördernde oder kontraktionshemmende Maßnahmen.

WINTON 1930 hat durch sein Modell (s. Abb. 2) für den Verlauf der Nachdehnungskurve eine mechanische Erklärung gegeben. Danach läßt sich die Nachdehnungskurve in einen rein elastischen (A), viscös-elastischen (B) und viscös-elastisch, rein plastischen Verlaufsanteil (B + C) unterteilen. Die Frage, an welche biologische Strukturen der plastische Tonus gebunden ist, ist damit noch nicht geklärt und blieb bis heute eigentlich unbeantwortet. Während BOZLER 1931 plastisches und kontraktiles Element für identisch hielt, lehnten JORDAN 1918 und GREVEN 1950 eine Identität ab. BOZLER 1931 beschrieb das Verhalten des glatten Muskels in der Art, daß die Viskosität der Erschlaffung aber nicht dem ansteigenden Teil der Kontraktion entgegenwirkt. Würde der visköse Widerstand nicht auf die kontraktile Elemente selbst zurückgeführt, sondern irgendwelchen anderen, nicht kontraktile Elementen zugeschrieben, so würden diese auch bei einer Kontraktion auf die kontraktile Elemente dämpfend einwirken. Nach JORDAN 1936, FISCHER 1947, GREVEN 1951 wurde die

Viskosität des glatten Muskels auf eine intermicelläre hochvisköse Substanz zurückgeführt, die einer Deformierung der kontraktile Elemente entgegenwirkt (JORDAN : "Snow plough effect"). Nach BOZLER 1952 würde aber ein auf i n t e r molekulare Kräfte zurückgeführter visköser Widerstand nicht nur der Verlängerung sondern auch einer Verkürzung des Muskels entgegenwirken und als bloßer "Damping mechanism" funktionieren (s.oben). BOZLER nimmt heute als Ursache des viskösen Widerstandes i n t r a - molekulare Bindungen an, die den verkürzten Zustand der kontraktile Elemente aufrechterhalten und bei Dehnung aufgehoben werden. Für diese Auffassung spricht die Beobachtung, daß ATP, Pyrophosphat und Harnstoff, die eine Dissoziation von Aktomyosin herbeiführen, den viskösen Widerstand gegen Dehnung vermindern (BOZLER 1951).

Entgegen der Anschauung von BOZLER 1952 ist es aber unmöglich (GREVEN 1951, BANDMANN u. REICHEL 1954), plastische und kontraktile Längenänderungen auf den gleichen Mechanismus zurückzuführen, da plastische Längenänderungen nach Belastung und Erschlaffung nach Kontraktion einen verschiedenen zeitlichen Verlauf haben. Der plastische Tonus wäre nach Ansicht der eben genannten Autoren abhängig von einer durch Kontraktion herbeigeführten Desorientierung ruhender kontraktile Kettenglieder. Diese im wesentlichen durch BANDMANN u. REICHEL 1954 in Untersuchungen zur Struktur und Mechanik des glatten Schließmuskels von *Pinn nobilis* getroffene Vorstellung gibt eine akzeptable Erklärung: Gleiches Strukturelement - aber verschiedener Mechanismus. In diese Vorstellung läßt sich die Auffassung von GREVEN 1951 einordnen, nach der dem kontraktile Apparat parallel geschaltete Strukturen vorliegen müssen, die in loser Kopplung bei Aktivität des kontraktile Apparates zusammengeschoben werden. Dabei soll sich die Ordnung der einzelnen Strukturelemente, die zeit- und temperaturabhängig verläuft, nach thermokinetischen Kräften richten.

Die Verlangsamung der Erschlaffung und Relaxation beruht auf einer Zunahme der Viskosität. Am Präparat zeigte sich die R e g e n e r a t i o n des plastischen Tonus dadurch, daß es verlorenen plastischen Tonus ("Tonusniveau") durch über längere Zeit andauernde intermittierende kontraktile Tätigkeit wiederherstellen konnte (Abb. 10 und 11). Bei Belastungen und Dehnungen nach 5, 10, 15 und 20 Minuten und umgekehrt 20, 15, 10 und 5 Minuten Erholungszeit unter Adrenalin, das kontraktile Tätigkeit unterdrückte und vermutlich nur die während der Erholungszeiten einwirkenden i n t r a - oder i n t e r molekularen thermokinetischen Kräfte zur Geltung kommen ließ, wurde keine Wiederherstellung des ehe-

mals vorhandenen plastischen Tonus erzielt (s. Abb. 24 und 25). Dagegen zeigten isotonische und isometrische Versuche bei kontraktile Tätigkeit unter Prostigmin während der Entlastung bzw. Entdehnung mit zunehmender Erholungszeit eine Annäherung an den plastischen Tonus, wie er bei erstmaliger Belastung bzw. Dehnung vorlag (s. Abb. 16 und 17). Wie hier bei den Untersuchungen an der *Taenia coli* des Meerschweinchens fand sich auch am Blasenring des Kaninchens (REMINGTON u. ALEXANDER 1956) eine Regeneration des plastischen Tonus nach vorausgegangener Dehnung und Entlastung, die aber geringer war als bei erstmaliger visco-elastischer Dehnung. Nach REMINGTON u. ALEXANDER 1956 kann sich ein Teil des plastischen Dehnungsrückstandes nach Entlastung im Bereich niedriger Spannungen zurückbilden. Die Abb. 4, 7 und 11 zeigen nach Entlastung im Anschluß an die visco-elastische Rückstellung bis zur ersten Kontraktion einen langsamen Anstieg des Kurvenverlaufs im Sinne einer Rückbildung des plastischen Dehnungsrückstandes.

Es ist sicher denkbar, daß während der beschriebenen Versuche Kontrakturen wechselnden Ausmaßes in dem Sinne, wie sie in der Einleitung erörtert wurden, eine Rolle gespielt haben. Abgesehen davon, daß solche kaum nachzuweisen sind - auch Schwankungen des Membranpotentials brauchen keine verlässliche Auskunft zu geben - machen doch alle hier aufgezeigten Längen-Spannungsveränderungen, soweit sie nicht auf mit Aktionsströmen verbundener kontraktile Tätigkeit beruhen, durchaus den Eindruck elastisch plastischer Veränderungen, wie wir sie auch bei anorganischem Material kennen. Diese Analogie sei Veranlassung dafür, von der Erörterung des schwierigen Problems, ob hier Kontrakturen im engeren Sinne eine Rolle spielen, abzusehen.

ZUSAMMENFASSUNG

1. In Ergänzung älterer Befunde wird in elektrophysiologischen und mechanischen Versuchen an der *Taenia coli* des Meerschweinchens gezeigt, daß auch beim Warmblüter, wie für den Kaltblüter bereits nachgewiesen, der glatte Muskel fähig ist, allein aufgrund seiner variablen plastischen Eigenschaften bei gleichen dehnenden Kräften eine verschiedene Länge einzustellen und innezuhalten. Diese Innehaltung verschiedener Längen ist unabhängig von rhythmisch kontraktile Tätigkeit.
2. Dehnung "leiert" die Taenie aus. Ihr "plastischer Tonus" als Widerstandskraft gegen nachfolgende Dehnungen nimmt ab. Die Wiederherstellung des durch Dehnung verloren gegangenen plastischen Tonus der Taenie ist zeitabhängig und erfolgt nicht ohne mitwirkende rhythmisch kontraktile Tätigkeit.

LITERATUR

- AUBERT, X.M., ROQUET, L. and J. van der ELST : The tension length diagram of the frog's sartorius muscle.
Arch. int. Physiol. 59, 239, 1951
- BANDMANN, H.J. u. REICHEL, H.: Struktur und Mechanik des glatten Schließmuskels von *Pinna nobilis*.
Z.Biol. 107, 67, 1954
- BARGMANN, W.: Histologie u. mikroskop. Anatomie des Menschen.
Georg Thieme, Stuttgart 1956
- BLIX, M.: Skand. Arch. Physiol. (Berl.u.Lpz.) 4, 399, 1893
- BOZLER, E.: Untersuchungen zur Physiologie der Tonusmuskeln.
Z.vergl.Physiol. 12, 579, 1930
The heat production of smooth muscle.
J.Physiol. 69, 442, 1930
Die mechanischen Eigenschaften des ruhenden Muskels, ihre experimentelle Beeinflussung und physiologische Bedeutung.
Z.vergl. Physiol. 14, 429, 1931
The action potentials of visceral smooth muscle.
A.J. Physiol. 124, 502, 1938
The action potentials of the stomach.
A.J. Physiol. 144, 693, 1945
The relation of the action potentials to mechanical activity in intestinal muscle.
A.J. Physiol. 146, 495, 1946
Mechanism of relaxation in extracted muscle fibers.
A.J. Physiol. 167, 276, 1951
Evidence for an ATP - actomyosin complex in relaxed muscle and its response to calcium ions.
A.J. Physiol. 168, 760, 1952
Plasticity of contractile elements of muscle as studied in extracted muscle fibers.
A.J. Physiol. 171, 359, 1952
- BRECHT, K., R. BEHRENS u. H. BARTELS : Untersuchungen über den Sauerstoffverbrauch glatter Muskeln von Kaltblütern.
Arch. Pflügers 259, 306, 1954

- BÜLBRING, E.: Membrane potentials of smooth muscle fibers of the taenia coli of the guinea - pig.
J. Physiol. 125, 302, 1954
Correlation between membrane potential, spike discharge and tension in smooth muscle.
J. Physiol. 128, 200, 1955
Electrophysiology of smooth muscle with autorhythmicity. Abstr. XX Int. physiol. Congr. Brussels.
Changes in configuration of spontaneously discharged spike potentials from smooth muscle of the guinea-pig's taenia coli. The effect of electrotonic currents and of adrenaline, acetylcholine and histamine.
J. Physiol. 135, 412, 1957
Die Physiologie des glatten Muskels
Pflügers Arch. 273, 1, 1961
- CAESAR, R., EDWARDS, G.A. u. H. RUSKA : J. biophys. biochem. Cytol. 3, 867, 1957
- CHAMBERS, P.L. and V.R. PICKLES : J. Physiol. 144, 68, 1958
- FISCHER, E. The submicroscopical structure of muscle and its changes during contraction and stretch.
Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 4, 214, 1936
Vertebrate smooth muscle.
Physiol. Rev. 24, 467, 1944
Birefringence and ultrastructure of muscle.
Ann. New York Akad. Sc. 47, 783, 1947
- GREVEN, K.: Zur experimentellen Definition des "Tonusbegriffes" der glatten Muskulatur.
Z. Biol. 103, 139, 1950
Die Wirkungen des vegetativen Nervensystems und seiner Mimetica auf den kontraktilen und plastischen Tonus der Magenringmuskulatur.
Z. Biol. 103, 301, 1950
Über die Wiederherstellung des plastischen Tonus der Magenringmuskulatur nach Dehnung.
Z. Biol. 103, 322, 1950
Plastischer Tonus und Membranpotential.
Z. Biol. 104, 63, 1951
Über die Tauglichkeit von Präparaten zum Studium der Mechanik der glatten Muskulatur der Wirbeltiere.
Z. Biol. 104, 362, 1951

- GREVEN, K.: Sind die Nachwirkungserscheinungen beim glatten Muskel mit den Erschlaffungsvorgängen nach Kontraktion identisch mechanische Vorgänge ?
Z. Biol. 104, 373, 1951
Die Mechanik der glatten Muskulatur der Wirbeltiere.
Klin. Wschr. 29, 685, 1951
Über den Mechanismus der Regulierung der Kontraktionsstärke beim glatten Muskel durch tetanische und quantitative (räumliche) Summation.
Z. Biol. 106, 377, 1954
- GREVEN, K. u. G. SIEGLITZ : Ergänzende Untersuchungen zum Problem des plastischen Tonus der glatten Magenmuskulatur von Warm- u. Kaltblütern.
Z. Biol. 104, 100, 1951
- HANSON, J. and J. LOWY : Nature 184, 286, 1960
- JORDAN, H.J.: Über die Physiologie der Muskulatur und des zentralen Nervensystems bei hohlorganartigen Wirbellosen, insbesondere bei Schnecken.
Erg. Physiol. 16, 87, 1918
Der Tonus glatter Muskeln als Funktion der Muskelfluidität. Tonus, tonische Kontraktion, Tonus im Verhältnis zum Tetanus.
Proc. Acad. Wetensch. Amsterd. 33, 788, 1930
- JUNG, H.: Über die Aktionspotentiale am schwangeren und nicht schwangeren Uterus.
Pflügers Arch. 262, 13, 1955
- LEVIN, A. and J. WYMAN : The viscous-elastic properties of muscle.
Proc. Roy. Soc. Lond. B. 10, 218, 1927
- POSTMA, N.: Proc. Akad. Wetensch. Amsterd. 38, 1036, 1935
- PROSSER, C.L.: Comparative physiology of activation of muscles with particular attention to smooth muscles.
In G.H. BOURNE : Structure and function of muscle. Vol. II, 387, 1960 Acad. Press, New York and London
- PROSSER, C.L., N. SPERELAKIS and R.A. BERGMANN : Conduction in intestinal circular muscle.
A.J. Physiol. 183, 652, 1955
- REICHEL, H.: Muskelelastizität
Erg. Physiol. 47, 469, 1952

- REICHEL, H.: Die elastischen Eigenschaften des glatten Schließmuskels von *Pinna nobilis* bei verschiedenen Tonuslängen unter statischen und dynamischen Bedingungen.
Z. Biol. 105, 162, 1952
- RIESSER, O.: Der Muskeltonus.
Hdb. der normalen u. patholog. Phys. Bd. VIII/1, 192, 1925 Springer Berl.
Vergleichende Muskelphysiologie
Erg. Physiol. 38, 134, 1936
- REMINTON, J.W. and R.S.ALEXANDER: Relation of tissue extensibility to smooth muscle tone.
A.J.Physiol. 185, 302, 1956
- WINTON, F.R.: Tonus in mammalian unstriated muscle
J.Physiol. 69, 393, 1930

LEBENS LAUF

Als Sohn des Bundesbahnrates Walter Stahr und seiner Ehefrau Erika Stahr, geb. Gebauer, wurde ich am 30.12.1934 in Weißstein/Waldenburg/Schl. geboren. In Breslau besuchte ich die Volksschule. Nach der Flucht in die Westzone besuchte ich die Oberschule in Seesen/Harz, später das Rudolf Koch-Realgymnasium in Offenbach/Main, wo ich am 4.3.1955 die Reifeprüfung ablegte. Meine medizinische Ausbildung erhielt ich an der Christian Albrechts-Universität in Kiel, an der Justus Liebig-Universität in Gießen und an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt/Main. Dort bestand ich am 20.2.1961 die ärztliche Prüfung. Gegenwärtig bin ich als Medizinalassistent in der I. Medizinischen Universitätsklinik Frankfurt/Main tätig.

